

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-26688  
(P2002-26688A)

(43) 公開日 平成14年 1月25日 (2002.1.25)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームコード\* (参考)

H 0 3 H 9/145

H 0 3 H 9/145

Z 5 J 0 9 7

H 0 1 L 41/09

9/25

Z

H 0 3 H 9/25

H 0 1 L 41/08

C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-211105(P2000-211105)

(22) 出願日 平成12年 7月12日 (2000.7.12)

(71) 出願人 000003193

凸版印刷株式会社

東京都台東区台東 1丁目 5番 1号

(72) 発明者 中曾 教尊

東京都台東区台東 1丁目 5番 1号 凸版印

刷株式会社内

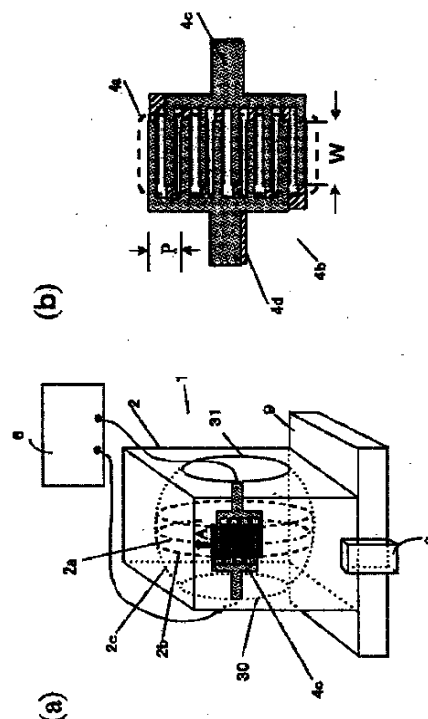
Fターム(参考) 5J097 AA23 BB01 DD01 EE01

(54) 【発明の名称】 球状弾性表面波素子

(57) 【要約】

【課題】従来に比べ遥かに性能を高めることが出来るばかりでなく、コンパクトで、取り扱いや外部環境の影響を受けにくくすることが容易で、流体センサーにも応用可能な球状弾性表面波素子を提供する。

【解決手段】少なくとも球面の一部で形成されていて円環状に連続している内表面を有した基材と、上記基材の内表面に設けられ、上記基材の内表面の連続する方向に向かう弾性表面波を発生する弾性表面波発生手段と、を備えており、弾性表面波発生手段が上記内表面に沿い上記連続する方向と交差する方向に拡散せずに上記基材の内表面の連続する方向に向かうよう弾性表面波を発生させることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】少なくとも球面の一部で形成されていて円環状に連続している内表面を有した基材と；上記基材の内表面に設けられ、上記基材の内表面の連続する方向に向かう弾性表面波を発生する弾性表面波発生手段と；を備えており、弾性表面波発生手段が上記内表面に沿い上記連続する方向と交差する方向に拡散せずに上記基材の内表面の連続する方向に向かうよう弾性表面波を発生させる、ことを特徴とする球状弾性表面波素子。

【請求項 2】上記基材は非圧電材料で形成されていて、上記弾性表面波発生手段は、上記基材の内表面に設けられ、圧電材料膜を有すると共に圧電材料膜に電界を印可して上記基材の内表面の連続する方向に弾性表面波を発生させることを特徴とする請求項 1 に記載の球状弾性表面波素子。

【請求項 3】上記基材は圧電材料で形成されていて、上記弾性表面波発生手段は、上記基材の内表面に設けられ、基材に電界を印可して上記基材の内表面の連続する方向に弾性表面波を発生させるように形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の球状弾性表面波素子。

【請求項 4】上記電界を印可する手段は、高周波電源に接続される櫛形電極を含んでいる、ことを特徴とする請求項 2 または請求項 3 に記載の球状弾性表面波素子。

【請求項 5】櫛形電極の発生する弾性表面波の波長は上記球面の半径の  $1/10$  以下であることを特徴とする請求項 4 に記載の球状弾性表面波素子。

【請求項 6】櫛形電極の、発生する弾性表面波の伝搬方向に直交する方向における電極の重なり幅は上記球面の直径の半分以下で上記半径の  $1/100$  以上である、ことを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載の球状弾性表面波素子。

【請求項 7】上記基材はレーザービームを透過する材料で構成されるとともに、内表面の少なくとも一部に、上記レーザービームを吸収して弾性表面波を含む弾性振動を発生するレーザービーム吸収層を弾性表面波発生手段として有することを特徴とする請求項 1 の球状弾性表面波素子。

【請求項 8】上記基材の内部は、真空あるいは特定の気体または液体が満たされているか封入されていることを特徴とする請求項 1 から 7 いずれか 1 項記載の球状弾性表面波素子。

【請求項 9】上記基材は、円環状に弾性表面波が伝搬する領域によって隔てられた 2 つの球面領域の一方あるいは両方に、基材内部に/から流体を流入/流出することを目的とした開口をもつことを特徴とする請求項 1 から 8 いずれか 1 項記載の球状弾性表面波素子。

【請求項 10】上記基材の内面側に、外部から流入される気体や液体と反応して、弾性的性質が変化する反応性材料によりなる層が形成されたことを特徴とする請求項 1 から 9 いずれか 1 項記載の球状弾性表面波素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は弾性表面波素子に関係しており、より詳細には、少なくとも球面形状の一部で形成されていて円環状に連続している内表面を有した基材の上記内表面に弾性表面波発生手段を設けた球状弾性表面波素子に関係している。

## 【0002】

【従来の技術】基材上に弾性表面波を発生させるとともに基材上に発生された弾性表面波を受信するものとして弾性表面波素子は従来から良く知られている。従来の弾性表面波素子では圧電体上に 1 対の櫛形電極が設けられていて、一方の櫛形電極に高周波電圧を供給することにより一方の櫛形電極の並んでいる方向に弾性表面波を発生させ、他方の櫛形電極が一方の櫛形電極から発生される弾性表面波の移動方向に配置されていて上記弾性表面波を受け取る。弾性表面波素子は、遅延線、発信機の為の発振素子及び共振素子、周波数を選択する為のフィルター、化学センサー、バイオセンサー、またはリモートタグ等に使用されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】そして弾性表面波素子において共振周波数の精度を高める為には、1 対の櫛形電極相互間を弾性表面波が伝搬する際の伝搬損失を出来る限り小さくすることが望まれている。

【0004】しかしながら、通常の弾性表面波素子は 1 対の櫛形電極が設けられている圧電体の表面及び基材の表面が平坦であるので、一方の櫛形電極から発生された弾性表面波は他方の櫛形電極に向かい伝搬する間に上記表面上で伝搬方向と直交する方向にも拡散し弱まってしまふ。この為に弾性表面波の伝搬損失を小さくすることが出来ず、ひいては弾性表面波素子における性能を高めることに限界がある。また、球状基材の外表面に櫛形電極を用いるなどしてコンパクトで電氣的に優れた弾性表面波素子を構成することも出来るが、外部に弾性表面波が伝搬する領域が露出するために、接触が許されない部分が存在し、取り扱いや固定、さらに、電氣的な処理を行うに必要な電気部品をそれに付加するにその十分なスペースを球の表面に確保できないなどの難がある。さらに、気体や液体のセンサーとして用いるにしても、それら流体が流れる経路の中に挿入しなくてはならず、特に小さな配管中、或いは少量の被観測流体しか準備できない場合には困難になる。

【0005】この発明はこのような事情の下でなされ、この発明の課題は、従来の弾性表面波素子に比べ遥かに性能を高めることが出来るばかりでなく、コンパクトでもある球状弾性表面波素子を提供し、且つ外部雰囲気の影響を受けにくい構成にすることが容易で、固定が容易で、さらに、流体を扱うセンサーを容易に構成出来、さらに、入出力に必要な電気部品などを容易に追加可能な

弾性表面波素子を提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明はかかる課題を解決するものであり、請求項1の発明は、少なくとも球面の一部で形成されていて円環状に連続している内表面を有した基材と、上記基材の内表面に設けられ、上記基材の内表面の連続する方向に向かう弾性表面波を発生する弾性表面波発生手段と、を備えており、弾性表面波発生手段が上記内表面に沿い上記連続する方向と交差する方向に拡散せずに上記基材の内表面の連続する方向に向かうよう弾性表面波を発生させる、ことを特徴とする球状弾性表面波素子、としたものである。

【0007】本発明の請求項2の発明は、上記基材は非圧電材料で形成されていて、上記弾性表面波発生手段は、上記基材の内表面に設けられ、圧電材料膜を有すると共に圧電材料膜に電界を印可して上記基材の内表面の連続する方向に弾性表面波を発生させることを特徴とする請求項1に記載の球状弾性表面波素子、としたものである。

【0008】本発明の請求項3の発明は、上記基材は圧電材料で形成されていて、上記弾性表面波発生手段は、上記基材の内表面に設けられ、基材に電界を印可して上記基材の内表面の連続する方向に弾性表面波を発生させるように形成されていることを特徴とする請求項1に記載の球状弾性表面波素子、としたものである。

【0009】本発明の請求項4の発明は、上記電界を印可する手段は、高周波電源に接続される櫛形電極を含んでいる、ことを特徴とする請求項2または請求項3に記載の球状弾性表面波素子、としたものである。

【0010】本発明の請求項5の発明は、櫛形電極の発生する弾性表面波の波長は上記球面の半径の $1/10$ 以下であることを特徴とする請求項4に記載の球状弾性表面波素子、としたものである。

【0011】本発明の請求項6の発明は、櫛形電極の、発生する弾性表面波の伝搬方向に直交する方向における電極の重なり幅は上記球面の直径の半分以下で上記半径の $1/100$ 以上である、ことを特徴とする請求項4又は請求項5に記載の球状弾性表面波素子、としたものである。

【0012】本発明の請求項7の発明は、上記基材はレーザービームを透過する材料で構成されるとともに、内表面の少なくとも一部に、上記レーザービームを吸収して弾性表面波を含む弾性振動を発生するレーザービーム吸収層を弾性表面波発生手段として有することを特徴とする請求項1の球状弾性表面波素子、としたものである。

【0013】本発明の請求項8の発明は、上記基材の内部は、真空あるいは特定の気体または液体が満たされているか封入されていることを特徴とする請求項1から7いずれか1項記載の弾性表面波素子、としたものであ

る。

【0014】本発明の請求項9の発明は、上記基材は、円環状に弾性表面波が伝搬する領域によって隔てられた2つの球面領域の一方あるいは両方に、基材内部に/から流体を流入/流出することを目的とした開口をもつことを特徴とする請求項1から8いずれか1項記載の弾性表面波素子、としたものである。

【0015】本発明の請求項10の発明は、上記基材の内面側に、外部から流入される気体や液体と反応して、弾性的性質が変化する反応性材料によりなる層が形成されたことを特徴とする請求項1から9いずれか1項記載の弾性表面波素子、としたものである。

【0016】上述した課題を達成する為に、この発明に従った球状弾性表面波素子は、少なくとも球面形状の一部で形成されていて円環状に連続している内表面を有した基材と、上記基材の内表面に設けられ、上記基材の内表面の連続する方向に向かう弾性表面波を発生する弾性表面波発生手段と、を備えており、弾性表面波発生手段が上記内表面に沿い上記連続する方向と交差する方向に拡散せずに上記連続する方向に向かうよう弾性表面波を発生させる、ことを特徴としている。この為に弾性表面波は上記内表面に沿い少なくとも上記内表面の円周距離を拡散することなく伝搬することが出来、ひいては無限に伝搬することが出来る。

【0017】従って、従来の弾性表面波素子に比べ遥かに性能を高めることが出来るし、基材が少なくとも球面の一部で形成されていて円環状に連続している内表面を有しているのでコンパクトでもある。

【0018】さらに、上記基材は非圧電材料で形成されていて、上記弾性表面波発生手段は、上記基材の内表面に設けられ、圧電材料膜を有すると共に圧電材料膜に電界を印可して上記基材の内表面の連続する方向に弾性表面波を発生させることを特徴とすることで、効率よく弾性表面波を励起し、性能の良い素子を構成することができる。

【0019】また、上記基材が圧電材料で形成されている場合も、上記弾性表面波発生手段は、上記基材の内表面に設けられ、基材に電界を印可して上記基材の内表面の連続する方向に弾性表面波を発生させることを特徴とすることで効率よく弾性表面波を励起し、性能の良い素子を容易に構成することができる。

【0020】ここで、上記電界を印可する手段は、高周波電源に接続される櫛形電極を含んでいることを特徴とするのでさらに高い効率で、且つ特定の方向に弾性表面波を励起することが出来、結果としてさらに性能の良い素子を構成することができる。

【0021】さらに、櫛形電極の発生する弾性表面波の波長は上記球面の半径の $1/10$ 以下であることを特徴とすることにより、振動が球全体の固有振動ではなく、波長が電極周期に等しい弾性表面波とみなせる。

10

20

30

40

50

【0022】また、橢型電極および付随の電気回路パターンなどの表面構造の全幅は、球の周囲長の半分以下である必要があり、したがって橢型電極の重なり部分の合理的な幅は直径の半分以下となる。一方、橢型電極の電極の重なり幅が半径の1/100以下になると、表面波は伝搬とともに大きく拡散し球全面において振動が無視できなくなるため、電極回路パターンや構造保持体などを球面の内表面に設置することが困難になる。さらに、センサーなどを構成する際の基材内面にたとえば気体や液体を流入排出するための開口を、弾性表面波の伝搬に影響を与えないで作ることが困難となる。

【0023】さらに基材をレーザービームを透過する材料で構成されるとともに、内表面の少なくとも一部に上記レーザービームを吸収して弾性表面波を含む弾性振動を励起するレーザービーム吸収層を弾性表面波発生手段として有する球状弾性表面波素子は、基材内部に圧電材料や電極パターンを構成することなく弾性表面波を発生且つ検出することができ、基材内面に圧電材料が腐食される活性の高い液体や気体を通過或いは封入しても使用できる利点を持つ。

【0024】さらに、上記基材の内部は、真空あるいは特定の気体または液体が満たされているか封入すれば、湿気等を初めとする外部雰囲気の変化の影響を意図的に抑えることが出来る利点を持たせることが出来る。

【0025】さらに、上記基材は、円環状に弾性表面波が伝搬する領域によって隔てられた2つの球面領域の一方あるいは両方に、基材内部に/から流体を流入/流出することを目的とした開口をもつことで、それらの開口部に被分析流体を接続するだけで、流体の存在が基材内部を伝搬する弾性表面波の伝播状況に影響をあたえることを介して流体検出センサーなどを容易に構成できる。

【0026】上記基材の内面側に、外部から挿入される気体や液体と反応して、弾性的性質が変化する反応性材料によりなる層を構成すれば、特に、極少量の被分析流体しか用意できない場合も、球形状の基材内部を満たすに必要な量があればよい利点を持っている。

【0027】

【発明の実施の形態】以下この発明の第1の実施の形態に従った球状弾性表面波素子について添付の図面中の図1を参照しながら詳細に説明する。図1(a)は本発明の球状弾性表面波素子の第一の実施の形態例を斜視で表した説明図で、図1(b)は本形態例に係る弾性表面波発生手段を平面で表した説明図である。

【0028】第1の実施の形態に従った球状弾性表面波素子1は、球形状の内表面2cを持つ基材2と、基材2の内表面2c上の所望の位置に設置された弾性表面波発生手段4と、を備えている。弾性表面波発生手段4は自身の設置位置を通過する基材2の内表面2cの連続する方向にある最大円周線2aに沿い矢印Aで示す如く移動する弾性表面波を発生させる。弾性表面波発生手段4が

発生させる上記弾性表面波は、基材2の内表面2cにおいて最大円周線2aに沿い少なくとも球面の一部で構成されていて円環状に連続している円環領域2b内を移動し、上記内表面2cに沿い上記内表面2cが連続する方向にある最大円周線2aに対し交差する方向において円環領域2b外に拡散しない。

【0029】より詳細に説明すると、例えば直径12.5mmの球形状の内面を持つ基材2は非圧電材料、例えばセラミック、により形成されている。弾性表面波発生手段4は、基材2の内表面2c上の上記所望の位置に貼り付けられた圧電材料膜4aと、圧電材料膜4a上下に設けられ上記連続する方向に振動する振動手段4bと、を備えている、この実施の形態において、振動手段4bは、高周波電源6に接続されている橢形電極4c（上部電極）、4d（下部電極）を備えている。橢形電極4c、4dの複数の電極片は上記連続する方向に配列されていてその電極の重なり幅Wが2mmであり、且つ電極周期Pは350ミクロンであり、最大円周線2aに対し交差する方向において円環領域2b外から高周波電源6の両極が接続されている。

【0030】球状弾性表面波素子1は、最大円周線2aに対し交差する方向において円環領域2b外から球形状の基材2の外表面に固定された1対の支持体8により基板9上から上方に支持されている。

【0031】弾性表面波発生手段4から発生される弾性表面波の波長は350ミクロンであり、球形状内面を持つ基材2の内表面2cの半径の1/10以下に設定されていて、この為に橢形電極4cの複数の電極周期Pの距離も350ミクロンで球形状内面を持つ基材2の内表面の半径の1/10以下に設定されている。さらに、上記内表面2cに沿い上記連続する方向と交差する方向における上記弾性表面波の幅は3mm弱であり、球形状の内面の基材2の直径12.5mm以下（より好ましくは、この直径の半分以下）で上記半径の1/100以上になるよう設定されている。この為に、橢形電極4c、4dの重なり幅は球形状の基材2の直径以下（より好ましくは、この直径の半分以下）で上記半径の1/100以上になるよう設定されている。

【0032】なおこの発明は、本願の発明者等が球面形状を持つ材料内面において所定の範囲の円弧（球形状内表面上の直線的な音源幅）で上記円弧と直交する方向に弾性表面波を発生させることにより上記円弧と直交する方向に沿い弾性表面波が上記円弧の方向に拡散することなく上記円弧と直交する方向に上記球状内面を周回することを発見したことによりなされた。

【0033】なお上記所定の範囲よりも小さな弾性表面波の発生源（音源）では、話しを簡単にする為に弾性表面波の発生源を点とすると、弾性表面波は発生源を中心にして球形状内面を持つ基材の内表面上を同心円状に広がった後に上記発生源とは正反対の側の地点に向かい同

心円状に集束し、また上記正反対の側の地点から球形状の基材の内表面上を同心円状に広がった後に球形状の基材の内表面において上記正反対の側の地点とは正反対に位置する弾性表面波の発生源に再度集束する。即ち、上記所定の範囲よりも小さな弾性表面波の発生源では、弾性表面波の発生源から放射された弾性表面波は上記内表面においてその進行方向と直交する方向に拡散してしまい、電極取り出しや、内部に流体を入排出する為の開口の形成によって弾性表面波の伝搬に影響を与えてしまう。

【0034】幅の広い弾性表面波の発生源では、発生源から発生された弾性表面波は上記所定の範囲の中心を通過し上記所定の範囲の円弧と直交する方向に沿って移動するとともに上記円弧を含む円周線を赤道と仮考えた時の極に該当する位置に向かい集束し、極に該当する位置を通過した後は上記円周線上において上記所定の範囲とは正反対の側で上記所定の範囲と同じ所定の範囲に拡散し、さらに別の極に該当する位置に向かい集束し、別の極に該当する位置を通過した後は上記所定の範囲に再度拡散するという、球の半周毎に集束と拡散とを繰り返す\*20

$$PQ^2 = 2r^2 [1 - \cos \phi_0 \cos \theta_0 \cos \phi_1 \cos \theta_1 - \sin \phi_0 \cos \phi_1 \cos \theta_1 - \cos \phi_0 \sin \phi_1 \sin \theta_1] \dots (1)$$

である。従って、角 $POQ = \theta$ とおくと余弦定理より

$$\cos \theta = \cos \phi_0 \cos \theta_0 \cos \phi_1 \cos \theta_1 + \sin \phi_0 \cos \phi_1 \cos \theta_1 + \cos \phi_0 \sin \phi_1 \sin \theta_1 \dots (2)$$

の関係が成り立つ。

【0037】点Pで発生した弾性表面波の点Qにおける粒子変位の半径方向成分は、

$$u_r = R_0 \left[ \frac{C}{\sqrt{\sin \theta}} \exp \left\{ i m \left( \theta - \frac{C_R t}{r} \right) \right\} \right]$$

… (3)

【0039】である (Viktorov, Rayleigh and Lamb Waves)。なおここで、Cは定数、mは円周の長さや弾性表面波の波長との比で、波数パラメータと呼ぶ。また $C_R$ はレイリー波速度、tは時間である。角度 $\theta$ は式(2)から求められる。点Eから見込む角度が $2\theta_0$ の円弧状音源による点Qの音場は、式(3)を $\theta$ について $-\theta_0$ から $\theta_0$ まで積分することにより得られる。音場分布は点Qの迎角 $\theta_1$ を変化させて計算することで求められる。

【0040】図3の(a)、(b)、(c)、そして(d)には点PがXZ面上にある $\phi_0 = 0$ の場合について上記の式(3)を使用して求めた弾性表面波が球形状の基材12上を伝搬する4つの状態が示されている。

\*ている。この場合も理論的には無限に繰り返し可能であるが、点に集束するときに局所的に振幅が大きくなりすぎることによって線形効果が生じて出力に予想外の影響が出る事が考えられる。それ以外の場合でも、電極取り出し口や流体の入排出項の取り付け場所が内面に確保できないなどの問題が生じる。

【0035】弾性表面波が上記円弧の方向に拡散することなく上記円弧と直交する方向に上記球面を周回する現象の為の条件は以下のようにして求められた。ここで説明図は球表面を仮定して行うが、内表面の場合も外表面の場合もまったく同じである。

【0036】図2には、本発明の効果を示す計算のための座標系が示されている。xyz座標軸と半径rの球面の交点をA、B、Cとして、円弧ACに対し平行な円弧DF上の点Pから発生した弾性表面波が円弧CG上の点Qに達するとする。角度 $\phi_0, \theta_0, \phi_1, \theta_1$ を図2中に示したように取ると、点P、Qの座標は $(r \cos \phi_0 \cos \theta_0, r \sin \phi_0 \cos \theta_0, r \cos \phi_0 \sin \theta_0)$ 及び $(r \cos \phi_1 \cos \theta_1, r \cos \theta_1 \sin \phi_1, r \sin \theta_1)$ となるため、

※【0038】

【数1】

※

【0041】図3の(a)、(b)、そして(c)は、波数パラメータ $m = 600$ の場合の音場(粒子変位の絶対値の角度 $\theta_1$ 依存性)を調べた結果である。図の各々において、最も下のプロットは球面上の弾性表面波の伝搬を表す角度(伝搬角) $\phi_1$ が $10^\circ$ の場合の音場であり、上に向かって $20^\circ$ ずつ増加した場合の音場が順にプロットしてある。

【0042】図3の(a)は、開口半角 $\theta_0 = 30^\circ$ の場合である。この場合には、図3の(a)から明らかのように、弾性表面波の伝搬状態は集束ビーム形状である。即ち、伝搬角 $\phi_1$ が増加するにつれて音場の幅が減少し $\phi_1 = 90^\circ$ で最小になった後は再び幅が増加し対極点 $180^\circ$ で音源上と同じ分布が再現される。以降は $180^\circ$ 毎に上記同じ変化が繰り返えされ、何周回って

も同じ変化が繰り返えされる。これは回折による波の拡散が全く無い球面に独特な現象である。この場合、開口半角  $\theta_A = 30^\circ$  よりも音場が広がることなく、 $\theta_1 < \theta_A$  の帯状部分に弾性表面波のエネルギーが閉じ込められている。この場合には、球形状の基材 12 の外表面において  $\theta_1 > \theta_A$  の部分に他の物体を接触させても音場に擾乱は生じない。

【0043】図3の(c)は、開口半角  $\theta_A = 1^\circ$  の場合である。この場合には、図3の(c)から明かなように、弾性表面波の伝搬状態は点音源の場合と類似した発散ビーム形状である。即ち、伝搬角  $\phi_1$  が増加するにつれて音場の幅も増加し  $\phi_1 = 90^\circ$  で最大になった後は再び幅が減少し対極点  $180^\circ$  で音源上と同じ分布が再現される。この場合は、図3の(a)を参照しながら上述した集束ビームに場合とは異なり、 $\theta_1 < \theta_A$  の帯状部分に弾性表面波のエネルギーが閉じ込められることが無く、 $\phi_1 = 90^\circ$  では略大円全体に広がってしまう。この場合には、球形状の基材 12 の外表面において  $\phi_1 = 90^\circ$  において球形状の基材 12 の外表面の  $\theta_1 > \theta_A$  の部分に他の物体を接触させると音場に擾乱が生じる。

【0044】図3の(b)は、開口半角  $\theta_A = 3.5^\circ$  の場合である。この場合には、図3の(b)から明か\*

波数パラメータm (球の周囲長/弾性表面波波長)
150
300
450
600
750

なおこれは、数値計算による近似値である。

【0049】以上詳述したことから明かなように、この実施の形態では、波数パラメータmから上記の式(3)を使用してコリメート角  $\theta_{col}$  を求めるようにしている。そして、球形状の内面を持つ基材2の内表面上の所望の位置に弾性表面波発生手段4、より詳細には弾性表面波発生手段4の振動手段4bの楕形電極4c、がコリメート角  $\theta_{col}$  により規定される幅より広く設置され、この弾性表面波発生手段4により弾性表面波を発生させると、この弾性表面波は球形状の内面を持つ基材2の内表面上で電極の重なり幅により規定された範囲内を上記コリメート角  $\theta_{col}$  の方向に拡散することなく伝搬する。図1では、電極の重なり幅により規定された上記範囲が円環領域2bに相当しており、また上記コリメート角  $\theta_{col}$  と直交する方向が最大円周線2aに沿った方向に相当している。

【0050】そして実際には、波長パラメータ(上記球面の上記連続する方向における周囲長さ/弾性表面波波長)が100乃至800であり、楕形電極の電極の幅がコリメート角(コリメートビームが得られる角)と等し

\*なように、弾性表面波の伝搬状態は伝搬角  $\phi_1$  が増加しても音場の幅は殆ど変化しないコリメートビーム形状である。即ち、 $\theta_1 = \theta_A$  の帯状部分に弾性表面波のエネルギーが閉じ込められている。これは無限媒体中のベッセルビームと同様な特性である。そしてコリメートビームが得られる開口半角  $\theta_A$  をコリメート角  $\theta_{col}$  と呼ぶ。

【0045】図3の(a)乃至(c)から明かなように、開口半角  $\theta_A$  がコリメート角  $\theta_{col}$  に略等しい時、最も幅の狭い帯状部分に弾性表面波のエネルギーが閉じ込められている。

【0046】さらに、波数パラメータを変化させて上述したのと同様の数値解析を行った結果、波数パラメータmによりコリメート角  $\theta_{col}$  が変化することが分かった。図3の(d)は、波数パラメータmが300の場合に弾性表面波の伝搬状態がコリメートビーム形状になるのは、開口半角  $\theta_A$  が略  $4.5^\circ$  であることを示しており、この場合のコリメート角  $\theta_{col}$  は略  $4.5^\circ$  になる。

【0047】以下には、波数パラメータmが変化した場合のコリメート角  $\theta_{col}$  の値を示す。

【0048】

コリメート角 $\theta_{col}$
7.0
4.5
4.0
3.5
3.0

いかそれ以上である、ことが好ましい。

【0051】ここで、発生する弾性表面波の波長は楕形電極に電界が印可されることで圧電材料中に生じる電界分布の周期長すなわち電極周期に一般的に等しい。また、広帯域用の弾性表面波素子に見られるように、電極間隔が複数あるいは連続した幅を持つ場合にも、それに相当する弾性表面波の各周波数成分の波長について上記条件が成り立つ場合には、その周波数成分については伝搬方向垂直に弾性表面波が拡散しない弾性表面波素子が構成できる。

【0052】図4は、他の実施の形態例を示した説明図である。本発明の球状弾性表面波素子を用いて、液体センサーを構成した時の実施例を示す。ガラス製の厚板20(8mm厚)を図4(a)に示すようにくり貫いて断面が、半径Rが6.25mm(直径12.5mm)の球内面形状の一部となるように製作する。くり抜かれて、厚板の上下に開いた円形の穴は、流体等の開口部30、31として利用する。次に、図1(b)で示した弾性表面波発生手段を作成する。図4(b)は上部電極および下部電極を抵抗加熱蒸着により形成する方法を、模式的

に示した説明図である。蒸着材料 22 (電極材料) を蒸着ヒーター 23 で加熱し目的物に蒸着するものである。ガラス製厚板 20 の断面一部に、図 4 (b) に示すように、電極パターンの形成された蒸着マスク 21 (横方向から見た形状を模式的に図示) を用い、電極材料を加熱蒸着し、クロム膜 (500 Å) と金 (1500 Å) の下部電極 24 を形成する。電極周期 P は 100 μm にすることで、40 MHz のレーリー波 (音速 4000 m/s) を励起しやすいように設計した。また、電極の重なり幅 W は、2 mm であり、帯状に周回するための先の条件を満たしている。図 4 (c) は DC スパッタで圧電材料の薄膜を形成する方法を模式的に示した説明図である。図 4 (c) に示すように、チャンバー 25 内に下部電極 24 の形成された厚板 20、ZnO のターゲット 26、スパッタ用電極等を設置し、チャンバー内に酸素ガスを導入し、ZnO のターゲット 26 とスパッタ用電極間に、DC 高圧電源 27 より DC 電圧を加え、ZnO 膜 (厚さ 20 μm) を形成する。この時、ZnO 製のターゲットは開口部 30、31 近傍に配置するとともに、対向する電極は反対側に設置することで、基材内面に ZnO の圧電膜を成長させることが出来る。次に、上部電極を下部電極同様に蒸着して形成する。スパッタで用いるガスの濃度や DC 高圧電圧の電圧など、また蒸着マスクの作成方法についても、公知の方法を利用できる。

【0053】この後、2箇所から電極を外に取りだし後、図 4 (d) に示すようにガラス厚板のくり貫き部を挟んで液体配管を接続して、液体感知センサ 40 を作成した。櫛型電極の採用した櫛型電極の構成などは第 1 の実施の形態に同じである。作成した流体感知センサ 40 に対して図 5 (a) に示すような回路を構成し、流体感知センサ 40 への信号の入出力ができる。図で、インパルス信号発生器 44 でパルス信号を発生し、サーキュレーター 41 を介し、流体感知センサ 40 にパルス信号を入力する。流体感知センサ 40 より発生した信号は、サーキュレーター 41 からアンプ 42 を介しオシロスコープ 43 に出力され、信号波形として表示される。図 4 (b) の短時間幅のパルス信号 (200 V) を流体感知センサ 40 に印可したところ、櫛型電極で発生した弾性表面波は球内面形状の断面を伝播周回しその反射波を再び櫛型電極に自身からの出力として図 4

(c) に示す信号として観測した。レーリー波成分 (周波数約 40 MHz) のみを観測するために 50 MHz 以上の周波数成分を除いて表示している。図中 A と B の間の時間は、特に液体配管の中に液体の流れていない状態では 11.5 マイクロ秒であった。

【0054】次に、液体が内部を流れたときにその強度は弱くほとんど確認できなくなることによって、液体が流れたことを検出出来ることを確認した。

【0055】また、基材内面に導かれる気体や液体のセンサを構成するのに、それに接するように内面側の円

環領域の少なくともその一部にそれらと反応して弾性常数の変化する材料を塗布すれば、結果として基材内面を伝搬する弾性表面波の伝搬に影響を与えることから、臭気など流体の化学的性質に基づくセンサを構成可能で、そのときに必要な被分析用気体や液体の量は基材内部を満たすに必要な最小の量ですむことも非常な利点である。気体によって弾性的な性質の変わるディグリセロールやメチルシリコンなどがあるが、これらの材料を表面に塗布することによる弾性的性質の変化については公知であるのでここで説明しないし、これらの種類によって本発明が制限されるものではない。

【0056】このように、本願の発明に従った球状弾性表面波素子は弾性表面波が伝搬される円環領域が基材の内面にあるために素子の固定が容易であるばかりでなく、基材の外部表面に、信号処理用の増幅装置などを設置することも可能であり、全体を導体で囲えば、外部からの電気的な雑音に強く、また内部の信号を外部に漏洩して他の装置に影響を与えることを防ぐことも容易である。特に、周波数フィルターとして使用する場合などのように、内部に流体を流す事がなければ、内部の弾性表面波が伝搬する内表面に触らないように他の素子や部品を内部に格納することでよりコンパクト化をはかることが可能である。

【0057】なお上述した実施の形態及び変形例において球状弾性表面波素子 1 は、非圧電体の球形状の内面を持つ基材 2 の内表面の所定の位置に設けられた圧電材料膜 4a 上に振動手段 4b を設けることにより形成される。しかし基材 2 を圧電材料により形成することもでき、図 6 (a) に示すように、圧電材料により形成された基材 50 の内表面 51 上に所定の位置に表面弾性波発生手段 52 (ダブル電極) を直接設けることが出来る。この場合は例えば、基材 50 は PZT であり、直接図 6 (b) に示す電極パターンをクロムと金による蒸着によって形成するだけでよく、作成が非常に容易である。

【0058】尚、図 6 (b) に示した電極パターンについて、微細なパターンで形成してあるが、圧電体を電極で挟んで形成するときと異なり、位置合わせが容易でこのような複雑な電極パターンでも内面に形成することが可能であった。この周期は 350 ミクロンで、発生する超音波の波長も同様で 350 ミクロンであった。

【0059】また、周波数フィルターなどに使用する場合には、基材内部を真空あるいは、特定のガスや液体で満たして開口を塞ぐなどすれば、外気の湿度や雰囲気の変化による内面の弾性表面波の伝搬に影響を受けることによって素子の出力特性が変わることを防ぐことが容易に可能である。

【0060】また、この発明の球状弾性表面波素子において使用する少なくとも球面の一部で形成されていて円環状に連続している基材の内表面の直径には制限がなく非常に大きな直径のものから非常に小さな直径のものま

10

20

30

40

50

で、現在知り得る全ての手段により準備することが出来る。

【0061】さらに、上記基材の内表面の所定の位置に設けられる圧電材料膜も現在知り得る全ての手段により準備することが出来るし、この圧電材料膜上または上記基材の内表面の所定の位置に設けられる振動手段も現在知り得る全ての手段により準備することが出来る。ここにおける現在知り得る全ての手段には、導電性箔から櫛形電極状に独立して形成されたものを圧電材料膜上または上記基材の内表面の所定の位置に貼り付けたり、圧電材料膜上または上記基材の内表面上に蒸着や印刷やスパッタリング等により形成することを含んでいる。

【0062】尚、内部に液体を充填した場合について、液体が無い場合の弾性表面波と意図的に区別するために、液体が接しているときの弾性表面波を漏洩弾性表面波と呼ぶことがあるが本発明ではこの漏洩弾性表面波も弾性表面波と呼んでおり、漏洩弾性表面波を除外するものではない。

【0063】さらに、基材内面と液体境界近傍の、液体側にエネルギーを集中させながら基材内表面に沿って伝搬する回廊波とよばれるモードも存在し液体の音速に等しいことから液体の音速測定センサーとしてもしうできるが、本発明は、これら回廊波と呼ばれる波の伝搬を感知対象とした場合も除外しない。

【0064】以下この発明のその他の実施の形態について図7を用いて説明する。この第2の実施の形態では、弾性波や弾性表面波を励起して検出する方法が異なる。弾性表面波は以上詳述したような圧電材料に電界をかけることによって発生させることが出来るが、レーザービームを材料に照射して熱膨張を起こすことによっても漏洩弾性波を発生して出力することが出来る。

【0065】レーザービームの当て方としては、材料（基材）表面に直線形状の照射域を移動することで、直線に垂直方向に弾性波を励起伝播させることが出来る。また、2本のレーザービームを材料表面上で干渉させることで干渉縞を形成し、それによって特に弾性表面波を効率良く発生させることができる。さらに効率良く弾性表面波を発生させる方法として、走査干渉縞（SIF）を用いる方法がある。これらのレーザービームを用いて弾性表面波を励起する方法は公知であるのでここでは詳しく説明しないが、SIFを用いた方法についてその実施の形態について説明を加える。

【0066】球形状の円環状内面を含む基材はたとえば透明ガラスで作成される。基材の外表面は固定が容易な為直方体に加工され、かつ2面についてはレーザーに対して平滑に光学研磨を行った。透明ガラス内面については全面にアルミ蒸着を行っている。アルミ蒸着は、レーザービームを吸収及び反射するに必要な最小限の厚さでよい。

【0067】レーザー発振器からは新されたレーザービ

ームは2本のビームにビームスプリッタと呼ばれる光学部品によって分けられ一方のみ $\Delta f$ だけ周波数をかえる。これらのビームを基材内面のアルミ面上で干渉させることで、レーザービームによる走査干渉縞が形成され、同じ干渉縞の分布でアルミ面が熱膨張をおこして弾性波、特に表面弾性波を効率良く発振して内面上に弾性表面波を伝播させることができる。

【0068】図7（a）はその他の実施形態の例の、基材内表面上における弾性表面波発生に使用される装置の全体を概略的に示す説明図、図7（b）は、本実施形態例の表面弾性波素子を断面で表した説明図である。図7の（a）が、球形状の基材10の基材内表面12上に弾性表面波を発生させ、それを検出する為の装置を示している。3mmの直径の2本のYAGレーザービームL1、L2が基材10の内表面12の所定の範囲W（図7の（b））に対し略直角に向けられており、一方のYAGレーザービームL1に対し他方のYAGレーザービームL2はブラグセル14gを使用して30MHzだけ周波数が偏移されている。異なった周波数を伴った2本のレーザービームL1、L2の干渉により、基材10の内表面の所定の範囲W（図7（b））において2本のレーザービームL1、L2が照射された部分に走査干渉縞が形成される。

【0069】第1の副回動反射鏡14d、第2の副回動反射鏡14h、さらに主回動反射鏡14eのような機械的な調整手段により、干渉縞の平均隙間が弾性表面波の波長に等しくされるとともに、干渉縞の走査速度は位相速度に等しくされ、干渉縞と弾性表面波との位相の整合が行われる。レーザービームL1、L2は、干渉縞と弾性表面波との間の長い相互作用時間を達成する為に、100ns程度の特別に設計された長いパルスを持している。

【0070】なお上記所定の範囲W（図7の（b））は最大円周線12aに沿い球形状の基材10の内周面（内表面）の一部で規定されている円環状に連続している円環領域12bを規定している。このように、櫛型電極を用いなくとも、球形状の内表面上に、ある音源幅をもって条件に沿った波長の弾性表面波を特定の方向に伝搬するように励起することで、ある円環の幅内を、拡散することなく周回させることが出来る。

【0071】内面に励起伝播する弾性波の検出はナイフエッジ法等を用いて光学的に行うことが出来る。ナイフエッジ法を用いる場合は、細く絞ったレーザービームを内面のレーザーを反射する材料表面の微小領域に集束照射して、その反射光の一部をスリット等で遮蔽する。遮蔽されなかったビームの強度を電氣的にフォトダイオードなどを用いて信号化するものであって、基材内面を弾性表面波が伝播することで起きる内表面の微小な傾きによるレーザー反射波ビームの振れから非接触で弾性表面波を電気信号として観測することが出来る。



【0072】この構成の場合、弾性表面波を励起させるための圧電材料を形成する必要がなく、パターンニングされた電極も無い為に、圧電材料が励起されて基材内面を周回する弾性表面波の伝播を阻害することがないだけでなく、任意の周波数を励起出来るなどの特徴を持つことは明白である。

【0073】また、以上説明した実施の形態でも、図4(d)に示すように本発明の弾性表面波素子を液体の搬送される配管の途中に形成すれば、弾性表面波の伝播速度は液体があるときと無いとき、或いは液体の弾性的性質によっても変化することを利用して、液体センサーとして利用できることが明らかである。

【0074】特にレーザーを用いた方法では、内部を流れる液体に圧電体などによって構成される弾性表面波発生手段を形成する必要がなく、たとえば化学的に反応性の高い液体のセンサーをも構成可能な利点を有する。

【0075】なお、球の内面形状の基材内面を帯状に伝播する弾性表面波は互いに伝播経路を交差しても互いに影響しないことから、複数の弾性表面波発生手段を同一内面に構成する事もできる。この事は、圧電材料を用いて弾性表面波を励起するときも、レーザービームを用いて励起するときも同様である。図8に、その例を示す。この場合は2つの弾性表面波発生手段をたがいになぞるの発生した弾性表面波の帯状の周回経路60、61が交差するように作成している。周回経路60の領域をのぞいた部分には気体によって弾性的な性質が変化する材料を塗布することで感受用周回経路を構成している。周回経路61の周回経路による出力は基材内部を流れる気体の変化によって出力を変化させるとともに温度変化によっても影響されるが、温度変化を周回経路60の信号変化から測定して、周回経路61の結果を構成する事が可能である。

【0076】

【発明の効果】以上詳述したことから明かなように、この発明に従った球状弾性表面波素子は、従来の弾性表面波素子に比べ遥かに性能を高めることが出来るばかりでなく、コンパクトでもあり、液体や気体のセンサーを容易に構成可能で、また、内部を真空や特定の気体や液体で密封すれば外部の環境に対して安定な弾性表面波素子を構成でき、また基材内部に弾性表面波の伝搬領域が形成されているために、取り扱いや固定が容易で、且つ基材外部の表面に電子回路等を形成することも出来る。

【0077】なお、弾性表面波の発生を、レーザービームを用いて行う方法によっても、上記の利点は共通であり、とくに、基材表面の加工によって光学系を兼ねさせることもできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の球状弾性表面波素子の第1の実施形態の例を示す説明図で、図1(a)はこの発明の第1の実施の形態に従った球状弾性表面波素子の概略的な説明

図、図1(b)は弾性表面波発生手段の一例を平面で示した説明図である。

【図2】球状弾性表面波素子の内表面の所定の位置に振動手段を設ける幅を規定する為に使用する式の基礎となる座標系を概略的に示す斜視図である。

【図3】(a)、(b)、(c)、そして(d)は、図2の座標系を使用して作成された式により計算された波数パラメータ $m$ (円周の長さ $2\pi r$ と弾性表面波の波長の比)と開口半角(振動手段を設ける幅の $1/2$ )を変えて得られた弾性表面波が球状弾性表面波素子の球形状の内面を持つ基材上を伝搬する4つの状態を概略的に示す図である。

【図4】図1の第1の実施の形態に従った球状弾性表面波素子をつかった液体センサーを構成する時の説明図である。

【図5】(a)は図4の液体センサーを用い回路を構成した説明図、(b)はセンサーに入力したパルス波形を示す図、(c)はセンサーより出力された波形を示す図である。

【図6】本発明の球面弾性表面波素子の実施例の一部分を示す説明図である。

【図7】(a)は、第2の実施例の形態で利用されるレーザーを用いて弾性表面波を派生するにもちいられるレーザー発振装置、その加工を行う光学系、及び弾性表面波表面で発生する弾表面波をレーザーをもちいて検出する方法の説明図、(b)は第2の実施の形態に従った、レーザーを用いて弾性表面波を励起する方法を採用するにもちいる弾性表面波素子の構成を断面で示す説明図である。

【図8】本発明の球面弾性表面波素子の実施例の一部分を示す説明図である。

【符号の説明】

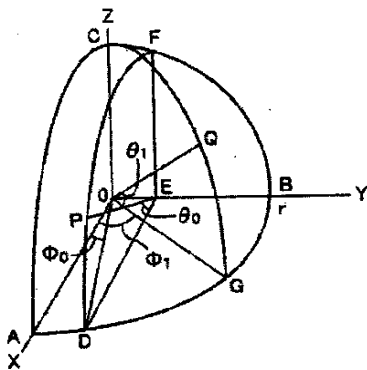
- 1・・・球状弾性表面波素子
- 2・・・基材
- 2a・・・最大円周線
- 2b・・・円環領域
- 2c・・・球形状の内表面
- 4・・・弾性表面波発生手段
- 4a・・・圧電材料膜
- 4b・・・振動手段
- 4c・・・櫛形電極(上部電極)
- 4d・・・櫛形電極(下部電極)
- 6・・・高周波電源
- 8・・・支持体
- 9・・・基板
- 10・・・基材
- 12・・・基材内表面
- 12a・・・最大円周線
- 12b・・・円環領域
- 20・・・厚板

21・・・蒸着マスク  
 22・・・蒸着材料  
 23・・・蒸着ヒーター  
 24・・・下部電極  
 25・・・チャンパー  
 26・・・ターゲット  
 27・・・DC高圧電源  
 30・・・開口部  
 31・・・開口部  
 40・・・流体感知センサー

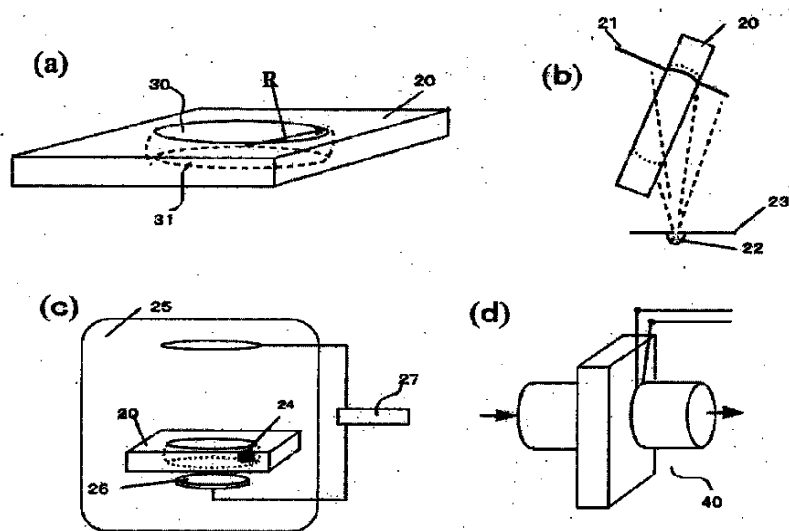
\* 41・・・サーキュレーター  
 42・・・アンプ  
 43・・・オシロスコープ  
 44・・・インパルス信号発生器  
 50・・・基材  
 51・・・基材内表面  
 52・・・表面弾性波発生手段  
 60・・・温度補正用周回経路  
 61・・・感受用周回経路

\*10

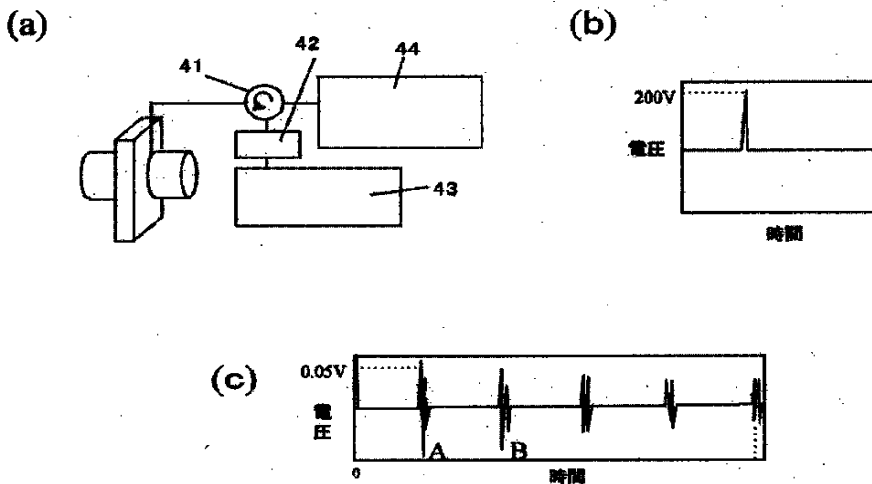
【図2】



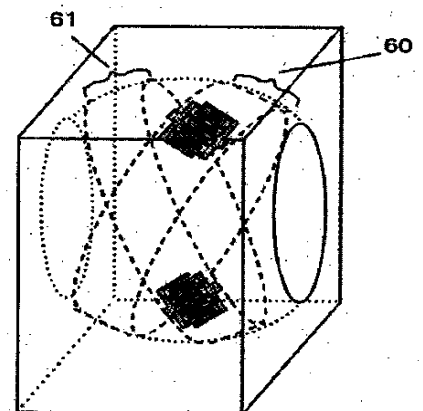
【図4】



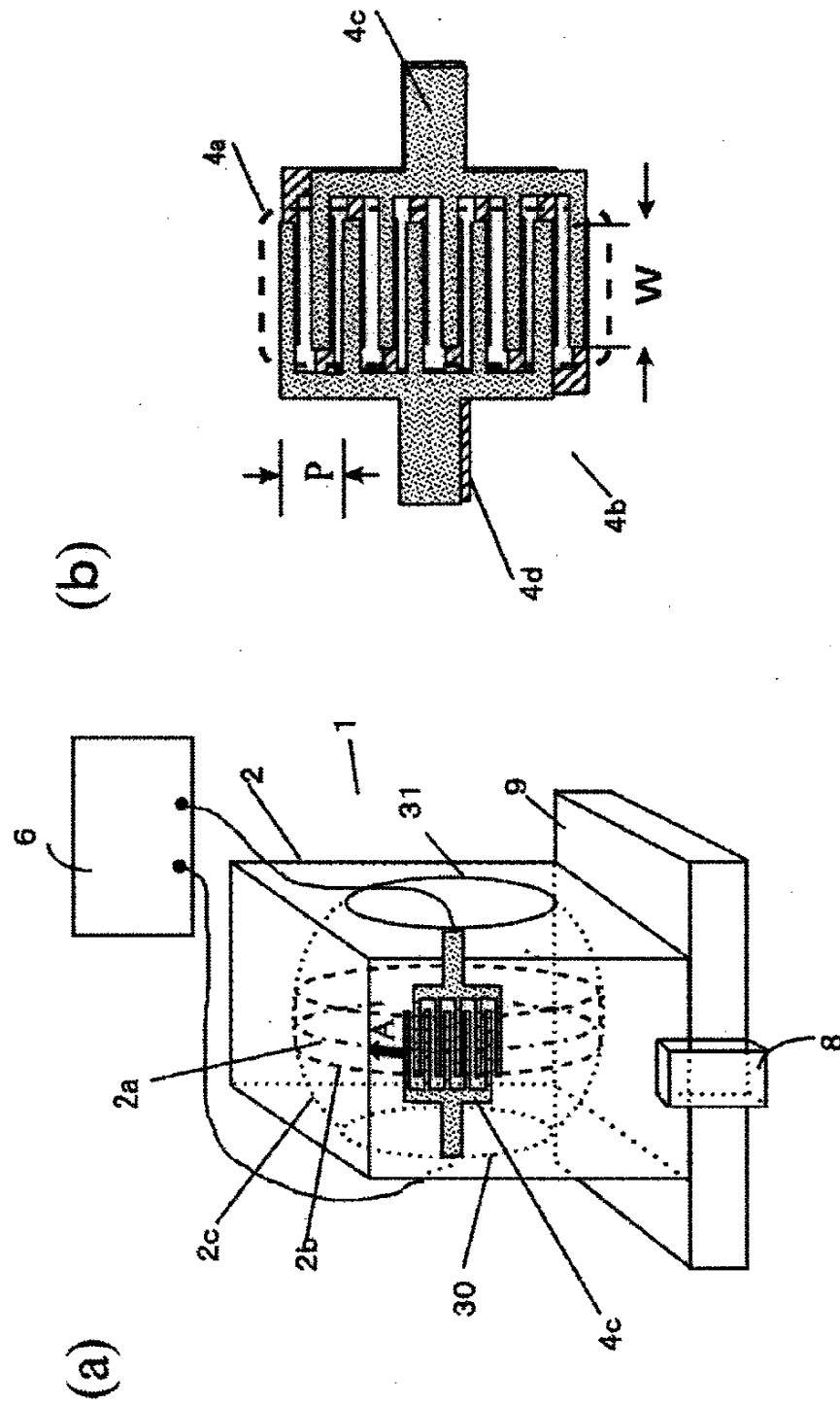
【図5】



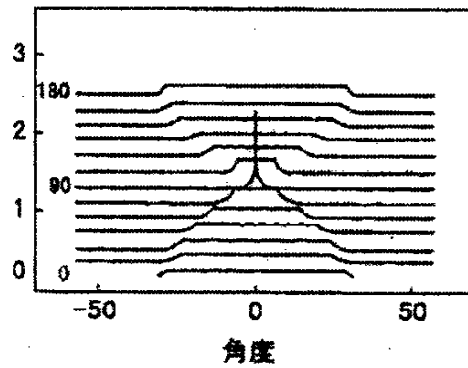
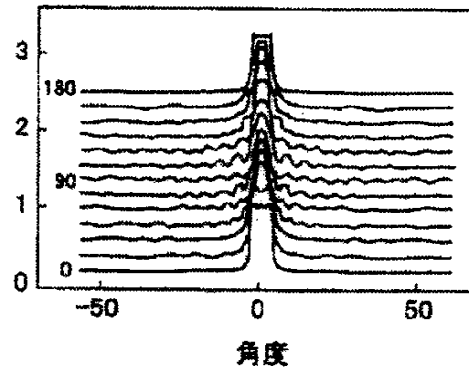
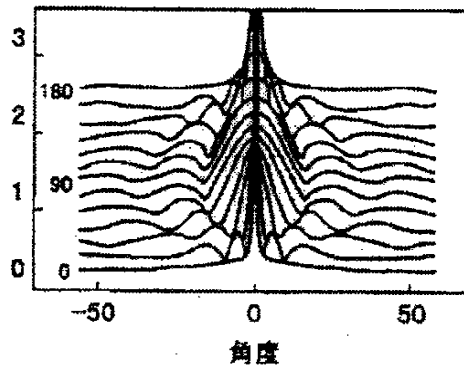
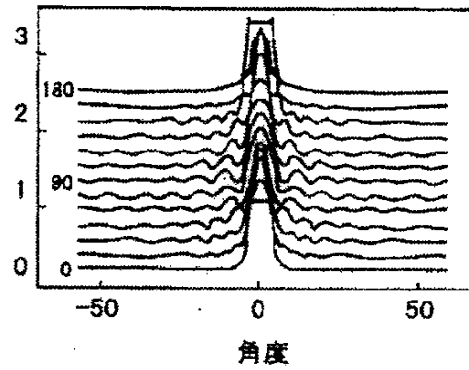
【図8】



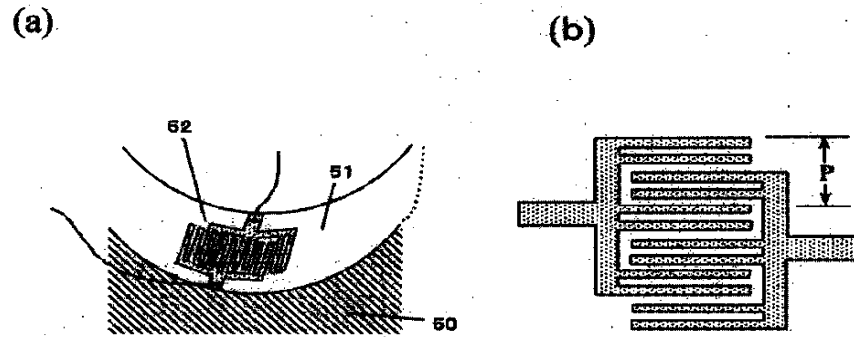
【図1】



【図3】

(A)  $m=600$ 、開口半角  $\theta_A = 30\text{deg}$ (B)  $m=600$ 、開口半角  $\theta_A = 3.5\text{deg}$ (C)  $m=600$ 、開口半角  $\theta_A = 1\text{deg}$ (D)  $m=300$ 、開口半角  $\theta_A = 4.5\text{deg}$

【図6】



【図7】

